

Method of manufacturing ceramic or powder-metallurgic components having a screw-shaped outer contour, in which a thermoplastic slurry is produced from ceramic materials or powder-metallurgic materials and from one or more thermoplastic binders and in which said thermoplastic slurry is charged into a mould the inner contour of which corresponds to the screw-shaped outer contour of the ceramic or powder-metallurgic component, and in which the thermoplastic slurry is solidified inside the mould and the thus obtained green compact is subsequently subjected to a heat treatment, characterized in that a viscosity of the thermoplastic slurry to be charged is adjusted from $\geq 0.05 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ to $\leq 4.0 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, that the mould is evacuated to a pressure between $\geq 5 \text{ Pa}$ and $\leq 0.09 \text{ MPa}$ before and/or during and/or after the charging of the thermoplastic slurry, wherein an evacuable mould is used, and that the charging of the thermoplastic slurry is performed at temperatures between 40°C and 180°C .

THIS PAGE BLANK (USPTO)



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Patentschrift
10 DE 197 03 175 C 2

51 Int. Cl.⁷:
B 28 B 1/26
B 28 B 13/02
B 22 F 3/22
B 22 F 5/06

21 Aktenzeichen: 197 03 175.7-25
22 Anmeldetag: 29. 1. 1997
43 Offenlegungstag: 6. 8. 1998
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 6. 2. 2003



DE 197 03 175 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

74 Vertreter:
Rauschenbach, M., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 01187
Dresden

72 Erfinder:
Lenk, Reinhard, Dr., 02779 Großschönau, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE-PS 22 36 383
DE-AS 15 33 035
DD 2 88 062 A7
US 51 94 268
JP 63-1 91 608 A
JP 61-2 42 954 A
JP 03-2 51 304 A
JP 03-1 50 115 A
JP 01-0 87 558 A
JP 01-0 33 057 A
JP 01-0 33 056 A

LENK, R. Techn. keram. Werkstoffe, Kap.3.4.8.1.,
S.3 u. 4;
HAUPT, U. Techn. keram. Werkstoffe, Kap.3.4.8.0.,
S.13 u. 14;

54 Verfahren zur Herstellung von keramischen oder pulvermetallurgischen Bauteilen mit einer
schraubenförmigen Außenkontur

57 Verfahren zur Herstellung von keramischen oder pulvermetallurgischen Bauteilen mit einer schraubenförmigen Außenkontur, bei dem aus keramischen Materialien oder aus pulvermetallurgischen Materialien und aus einem oder mehreren thermoplastischen Bindemitteln ein thermoplastischer Schlicker hergestellt wird und dieser thermoplastische Schlicker in eine Form eingebracht wird, deren Innenkontur der schraubenförmigen Außenkontur des keramischen oder pulvermetallurgischen Bauteils entspricht und der thermoplastische Schlicker in der Form verfestigt wird, und der erhaltene Grünkörper anschließend einer Wärmebehandlung unterzogen wird, dadurch gekennzeichnet, daß eine Viskosität des einzubringenden thermoplastischen Schlickers von $\geq 0,05 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ bis $\leq 4,0 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ eingestellt wird, die Form vor und/oder während und/oder nach dem Einbringen des thermoplastischen Schlickers auf einen Druck zwischen $\geq 5 \text{ Pa}$ und $\leq 0,09 \text{ MPa}$ evakuiert wird, wobei eine evakuierbare Form verwendet wird, und das Einbringen der thermoplastischen Schlicker bei Temperaturen zwischen 40°C und 180°C durchgeführt wird.

DE 197 03 175 C 2

Beschreibung

- [0001] Die Erfindung bezieht sich auf die Gebiete der Konstruktionskeramik, des Maschinenbaus, des Fahrzeug- und Anlagenbaus und der Medizintechnik und betrifft die Herstellung von keramischen oder pulvermetallurgischen Bauteilen, die eine schraubenförmige Außenkontur aufweisen, wie z. B. Bohrer, Schrauben usw.
- [0002] Bauteile mit einer schraubenförmigen Außenkontur finden vielseitige Anwendung in einer Reihe von Bereichen der Industrie. Sie sind unter anderem unverzichtbar für die spanende Bearbeitung von Werkstoffen.
- [0003] Die Wirkung derartiger Werkzeuge, wie z. B. von Bohrern beruht darauf, daß mittels kombinierter Vorschub- und Schnittbewegung Material vom zu bearbeitenden Werkstück abgespannt und durch ein Führung von der Bearbeitungsfläche entfernt wird. Die Werkzeugachse, die Achse der zu erzeugenden Innenfläche und die Richtung der Vorschubbewegung sind dabei zueinander parallel.
- [0004] Eine breite Anwendung finden Bohrer aus Metallen oder Metalllegierungen. Diese Bohrer werden mittels in der Metallurgie üblicher Formgebungsverfahren hergestellt. So werden z. B. beim Einsatz von Hartmetallen als Bohrer- material zunächst auf pulvermetallurgischem Wege Rundstäbe geformt, diese anschließend gesintert und danach mittels Schleifen in die endgültige Geometrie überführt.
- [0005] Die Bearbeitung von Werkstoffen hoher Härte wird durch den Einsatz von Sonderwerkstoffen, wie z. B. Hartmetallen, möglich oder dadurch, daß die Bohrspitze selbst gehärtet oder mit Hartmetall- oder Diamantplättchen oder -kristallen verbunden wird.
- [0006] Bohrer aus keramischen Materialien sind gegenwärtig noch nicht verbreitet. Es ist bekannt, das Bohrer aus Siliziumnitrid für die Schaltkreisherstellung (JP 03251304) aus Zirkonoxid (JP 01087558, JP 61242954) aus Aluminiumoxid und Zirkonoxid (JP 01033056) oder aus Aluminiumoxid (JP 01033057) hergestellt werden.
- [0007] Diese Bohrer werden mittels herkömmlicher keramischer Formgebung (kaltisostatisches Pressen) hergestellt, gesintert und anschließend durch mechanische Bearbeitung in die gewünschte Geometrie überführt. Derartig hergestellte Bohrer aus den genannten Zusammensetzungen zeichnen sich durch eine hohe Verschleißfestigkeit aus.
- [0008] Der Nachteil der bisherigen Entwicklungen besteht in ihrer Herstellungstechnologie, den damit verbundenen hohen Herstellungskosten und der relativ langen Herstellungszeit. Diese Mängel haben bisher eine breite Anwendung von Bohrern aus keramischen Materialien verhindert oder behindert.
- [0009] In speziellen Bereichen, wie z. B. in der Chirurgie, werden bisher Bohrer aus konventionellen Materialien, im wesentlichen Edelstahl, verwendet. Diese Bohrer verschleifen sehr schnell. Die Folge davon sind häufig notwendiger Bohrerwechsel, unpräzises Bohren, Verkantungen, Abgleiten von Knochenfragmenten, erhöhter Kraftaufwand und eine erhöhte Temperaturbelastung an der Bohrstelle.
- [0010] Weiterhin ist es auch nicht möglich, die Temperatur an der Bohrstelle, in-situ zu messen.
- [0011] Bei Überschreiten einer Grenztemperatur treten irreversible thermische Schädigungen des Knochens auf, die formschlüssige Verbindungen zwischen Implantaten oder Schrauben und Knochen verhindern oder zum Versagen der Verbindung führen können.
- [0012] Die Grenztemperatur im Bereich der Medizintechnik liegt bei 50°C.
- [0013] Weiterhin wurde bereits ein Verfahren zur Herstellung von keramischen oder pulvermetallurgischen Bauteilen mit einer schraubenförmigen Außenkontur vorgeschlagen.
- Bei diesem Verfahren werden aus keramischen oder pulvermetallurgischen Materialien mit Bindemitteln eine Pulvermischung oder ein Schlicker hergestellt, die oder der in eine Form eingebracht werden. Die Innenkontur dieser Form entspricht der schraubenförmigen Außenkontur des keramischen oder pulvermetallurgischen Bauteils. Weiterhin besitzt die Form eine oder mehrere Trennebenen ganz oder teilweise geteilt und mit oder ohne Querteilungen. Die Pulvermischung oder der Schlicker werden in der Form verfestigt, aus der Form entformt und anschließend einer Wärmebehandlung unterzogen.
- [0014] Es sind weiterhin Verfahren bekannt, nach denen Formkörper mittels einer freiformenden Bauteilfertigung durch lokale Materialverfestigung hergestellt werden können (Rapid Prototyping). Bei dieser generativen Fertigung wird die Geometrie des Bauteils dreidimensional beschrieben. Das erhaltene 3D-Bild wird in einer Dimension (in der Regel ist es die Höhe) in einzelne Scheiben zerlegt. Das Bauteil wird nun aufgebaut, indem Scheibe für Scheibe das Material innerhalb der Bauteilkontur verfestigt wird.
- [0015] Die einzelnen generativen Fertigungsverfahren beruhen auf der lokalen Aushärtung von Polymeren (Stereolithographie STL, Solid Ground Curing SGC), dem lokalen Versintern von Pulvern (Selektives Laser Sintern SLS, Lasergenerieren), dem schichtweisen Auftrag von verflüssigtem Material (Fused Deposition Modelling FDM), oder der lokalen Bindung von Pulvern durch eine Binder (Three Dimensional Printing TDP).
- [0016] Die Rapid Prototyping Verfahren werden gegenwärtig vorrangig zur Herstellung von Mustern aus Kunststoffen oder Wachsen angewandt. Die parallel entwickelten Folgetechnologien ermöglichen die Herstellung von Duplikaten aus Prototypen, oder die Herstellung von metallischen Prototypen.
- [0017] Eine dieser Rapid Prototyping Verfahren ist das Vakuumgießen (Kistenmacher D., Int. Konf. 29.-30.9.1994 TU Dresden, JP 63191608 A, JP 03150115 A). Beim Vakuumgießen wird ein Urmodell im Vakuum mit Silicon umgossen, das danach über initiierte Vernetzungsprozesse aushärtet. Um das Modell nach dem Aushärten entformen zu können, wird vor dem Abgießen die Formteilung markiert. Nachdem die Form aufgeschnitten und das Modell entnommen worden ist, können je nach Komplexität des Modells zwischen 25 und 30 Abgüsse erstellt werden. In der Siliconform können Wachse und verschiedene Gießharze abgegossen werden. Das Verfahren eignet sich besonders für filigrane und komplexe Modelle, die auch Hinterschnidungen aufweisen können.
- [0018] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein kostengünstiges Verfahren zur Herstellung von keramischen oder pulvermetallurgischen Bauteilen mit schraubenförmiger Außenkontur anzugeben, durch das Bauteile mit einer hohen Verschleißfestigkeit herstellbar sind, die wenig spröde, chemisch resistent und sterilisierbar sind.
- [0019] Die Aufgabe wird gelöst durch den Gegenstand des Anspruchs 1. Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen enthalten.
- [0020] Überraschenderweise hat sich gezeigt, daß für die Formgebung von thermoplastischen Schlickern mit einem bestimmten Viskositätsbereich keine Drücke größer dem atmosphärischen Druck notwendig sind, sondern daß ein Fließen und damit Füllen der Form bereits durch geringe Druckdifferenzen, wie sie bei der Herstellung eines Vakuums auftreten, möglich ist.
- [0021] Natürlich ist der Einsatz von Druck zum Füllen der Formen im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens möglich. Dabei wird der thermoplastische Schlicker unter einem Druck von beispielsweise 10 MPa in die Form einge-

bracht. Entweder vor, während des Füllens oder danach wird dann die Form evakuiert.

[0022] Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird es möglich, sehr einfach und sehr kostengünstig ein keramisches oder pulvermetallurgisches Bauteil mit schraubenförmiger Außenkontur herzustellen.

[0023] Derartige Bauteile weisen den besonderen Vorteil auf, daß ihre geometrische Außenkontur bereits nach der Formgebung vollständig gegeben ist.

[0024] Weiterhin bietet die vorliegende Erfindung den Vorteil, daß das Innere eines derartigen Bauteils frei gestaltet werden kann. Dadurch wird es möglich, z. B. Temperaturmessungen in unmittelbarer Nähe einer Bohrspitze während des Bohrvorganges vorzunehmen. Als Sensorwerkstoff für den thermischen Sensor kann vorteilhafterweise eine Funktionskeramik eingesetzt werden, die durch die Änderung ihres ohmschen Widerstandes, ihrer Kapazität oder anderen temperaturempfindlicher Eigenschaften ein Signal erzeugt, daß angezeigt werden kann.

[0025] Es ist auch vorteilhaft, daß beim Einsatz einer dichten Siliziumnitridkeramik mit speziellen Zusätzen nach dem Sintern eine Gefügekombination erreicht wird, die die Selbstschärfung z. B. eines Bohrers ermöglicht.

[0026] Es ist weiterhin vorteilhaft, daß die eingesetzten Formen mehrfach verwendet werden können.

[0027] Die Viskosität der eingesetzten thermoplastischen Schlicker muß $\leq 4,0 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ sein, damit der thermoplastische Schlicker durch die sich bei der Herstellung des Vakuums ergebenden maximalen Druckdifferenzen von bis zu 0,1 MPa fließfähig bleibt. Die Viskosität des thermoplastischen Schlickers darf wiederum nicht $\leq 0,05 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ sein, da sonst durch die Dichteunterschiede von Keramik- und Pulvermetallteilchen und Binderbestandteilen eine Entmischung auftritt. Die Gefahr der Entmischungen hängt von der Dichte der Feststoffteilchen und ihrer Teilchengröße ab. Dabei gilt, je größer die Dichte und die Größe der Feststoffteilchen ist, um so größer ist die Gefahr von Entmischungen.

[0028] Die Formgebung wird erfindungsgemäß bei einer Temperatur zwischen 40 und 180 °C durchgeführt. Bei Temperaturen unter 40 °C ist der thermoplastische Schlicker nicht fließfähig, bei Temperaturen über 180 °C verdampfen die thermoplastischen Binderanteile.

[0029] Es ist vorteilhaft, wenn die Form vor dem Einbringen des thermoplastischen Schlickers beheizt und nach dem Einbringen des thermoplastischen Schlickers die Form gekühlt wird.

[0030] Das Vakuum beträgt zwischen $\geq 5 \text{ Pa}$ und $\leq 0,09 \text{ MPa}$. Bei zu geringem Vakuum ist die sich ergebende Druckdifferenz zu gering, um ein Fließen des thermoplastischen Schlickers in die Form zu ermöglichen. Bei zu hohem Vakuum kommt es bei der Verarbeitungstemperatur zum Verdampfen von Binderbestandteilen, wodurch das Feststoff/Binder-Verhältnis geändert wird und der thermoplastische Schlicker sein Fließverhalten ändert.

[0031] Es ist weiterhin vorteilhaft, wenn die Form lichtdurchlässig oder lichtdurchscheinend ist. Dadurch kann beim Formgebungsprozess eine optische Kontrolle durchgeführt werden.

[0032] Es ist auch vorteilhaft, wenn die Formgebung unter einer Kontrolle des Einfüllvolumens (-gewichtes) des thermoplastischen Schlickers stattfindet.

[0033] Beide Kontrollen führen zu einer Qualitätsverbesserung.

[0034] Im weiteren wird die Erfindung an mehreren Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Beispiel 1

[0035] 1000 g eines sinterfähigen Siliziumnitridpulvers werden mit 300 g eines thermoplastischen Bindemittels, bestehend aus 220 g Paraffin und 80 g Stearinsäure in einer beheizten Kugelmühle compoundiert.

[0036] Die Viskosität des Schlickers beträgt bei 100 °C $1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$. Dieser thermoplastische Schlicker, mit einer Temperatur von 100 °C, wird in eine Form aus Kautschuk, die im Inneren die schraubenförmige Außenkontur des herzustellenden Bauteils aufweist, eingebracht. Die gefüllte Kautschukform wird 5 min bei der Temperatur von 100 °C einem Vakuum von 0,01 MPa ausgesetzt. Danach wird die Form abgekühlt. Damit ist ein Grünkörper mit ausreichender Stabilität für die anschließende Sinterung hergestellt worden.

[0037] Zur Ausformung des Grünkörpers wird die Kautschukform an ihrer schraubenförmigen Trennebene geöffnet und der Grünkörper kann entformt werden. Die Kautschukform kann zur Herstellung weiterer Grünkörper weiterverwendet werden.

[0038] Nach einer Sinterung bei 1900 °C und 90 min. 5 MPa N_2 ist ein keramischer Bohrer entstanden. Anschließend werden die Schneiden des Bohrers angeschliffen.

[0039] Der so hergestellte Bohrer ist chemisch resistent, relativ unempfindlich gegen mechanische Beanspruchungen, biologisch inert und sterilisierbar. Die Festigkeit dieses Bohrers ist entsprechend den Festigkeiten der Bohrer nach dem bekannten Stand der Technik.

Beispiel 2

[0040] In die Form aus Kautschuk mit der schraubenförmigen Innenkontur wird ein Kern aus Metall mit konischer Außenkontur eingebracht. Anschließend wird ein entlüfteter, keramischer Schlicker entsprechend Beispiel 1 in die Form eingebracht und entsprechend Beispiel 1 weiterbehandelt.

[0041] Nach der Verfestigung wird der Grünkörper entsprechend Beispiel 1 entformt und der konische Kern aus dem Grünkörper entnommen.

[0042] Der so hergestellte Grünkörper wird entsprechend Beispiel 1 gesintert.

[0043] In den konischen Innenraum des gesinterten Bauteils wird ein thermischer Sensor eingefügt, der die Temperatur in der Nähe der Bohrspitze anzeigt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von keramischen oder pulvermetallurgischen Bauteilen mit einer schraubenförmigen Außenkontur, bei dem aus keramischen Materialien oder aus pulvermetallurgischen Materialien und aus einem oder mehreren thermoplastischen Bindemitteln ein thermoplastischer Schlicker hergestellt wird und dieser thermoplastische Schlicker in eine Form eingebracht wird, deren Innenkontur der schraubenförmigen Außenkontur des keramischen oder pulvermetallurgischen Bauteils entspricht und der thermoplastische Schlicker in der Form verfestigt wird, und der erhaltene Grünkörper anschließend einer Wärmebehandlung unterzogen wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Viskosität des einzubringenden thermoplastischen Schlickers von $\geq 0,05 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ bis $\leq 4,0 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ eingestellt wird, die Form vor und/oder während und/oder nach dem Einbringen des thermoplastischen Schlickers auf einen Druck zwischen $\geq 5 \text{ Pa}$ und $\leq 0,09 \text{ MPa}$ evakuiert wird, wobei eine evakuierbare Form verwendet wird, und das Einbringen der

thermoplastischen Schlicker bei Temperaturen zwischen 40°C und 180°C durchgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als keramisches Material Siliziumnitrid verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß dichtes Siliziumnitrid mit 1–20 Ma-% von mindestens einem der Additive MgO oder CaO oder Y_2O_3 oder Seltene Erden und 0–0,8 Ma-% Al_2O_3 und 0–30 Ma-% TiC und/oder TiN eingesetzt werden, wobei die entstehende Gefügekombination eine Selbstschärfung zur Folge hat.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als pulvermetallurgisches Material Hartmetall verwendet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Grünkörper aus keramischen oder pulvermetallurgischen Materialien nach der Formgebung mechanisch bearbeitet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß vor der Verfestigung des Grünkörpers zusätzlich in sein Inneres ein oder mehrere Kerne zur Herstellung von Aussparungen, Hohlräume, Durchführungen eingebracht werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die zur Herstellung von Aussparungen, Hohlräumen, Durchführungen eingebrachten Kerne eine schraubenförmige, zylindrische, konische oder geometrisch unregelmäßige Außenkontur aufweisen.

8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß ein zylindrischer Hohlraum zur Aufnahme eines thermischen Sensors hergestellt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine oder mehrere Formen eingesetzt werden, die vakuumdicht und/oder dicht zusammenbaubar sind.

10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Form durch eine oder mehrere schraubenförmige Trennebenen ganz oder teilweise geteilt und mit oder ohne Querteilung(en) versehen ist.

11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Trennung der Form in der oder den Trennebenen erst nach der Verfestigung des Grünkörpers erfolgt.

12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Evakuierung der Form ein Vakuum zwischen 20 Pa und 0,01 MPa eingestellt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Form eingesetzt wird, die lichtdurchlässig oder lichtdurchscheinend ist.

14. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine beheizbare Form eingesetzt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Viskosität des thermoplastischen Schlickers von 0,1 Pa · s bis 2,0 Pa · s eingestellt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Formgebung drucklos durchgeführt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Einfüllen des thermoplastischen Schlickers mit einem Druck ≤ 10 MPa und $\geq 0,1$ MPa durchgeführt wird.